

# 电动仓储设备 设计工艺基础

Process Basis of Electric Storage  
Equipment Design

王建民 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS  
浙江大学出版社

# 电动仓储设备设计 工艺基础

王建民 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

## 图书在版编目 (CIP)数据

电动仓储设备设计工艺基础 / 王建民编著. —杭州:  
浙江大学出版社, 2019. 7

ISBN 978-7-308-19310-8

I. ①电… II. ①王… III. ①仓库经营管理设备—设计—技术培训—教材 IV. ①TH692.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 140735 号

## 电动仓储设备设计工艺基础

王建民 编著

---

责任编辑 王 波

责任校对 陈静毅 汪志强

封面设计 十木米

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州高腾印务有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 11.75

字 数 217 千

版 印 次 2019 年 7 月第 1 版 2019 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-19310-8

定 价 36.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社市场运营中心联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcbcs.tmall.com>

# 前 言

---

电动仓储设备制造企业的研发人员所面临的挑战是如何更好地了解用户对产品品质的要求,以及如何在产品设计和生产过程中实现用户所需求的品质。企业要想在市场竞争中保持优势,就必须设法提高设计和开发过程的效率,从而缩短从概念设计到批量生产的周期。只有更好地了解电动仓储设备的整体系统,才能在电动仓储设备设计的前期预知产品的质量和性能,以最少的投入实现设计的调整和改进,从而最终实现企业的经营目标。

杭州中力机械设备有限公司的经营理念 and 核心价值观,是多年来企业经营实践之本,公司最深入、最具前瞻性地实践着国际市场化的操作模式,已步入可持续成长之路。本人在工作中深受企业经营氛围的启迪,感到本公司的产品开发理念和模式与传统观念有很大区别。本书是我工作和学习的一点心得,愿与青年同行们交流。在新产品开发中,本书可提供一些分析问题的思路和解决问题的方法,供大家参考。

王建民

2018年5月

# 目 录

---

1 绪 论 .....	1
1.1 快速响应设计与制造系统 .....	1
1.2 新产品快速研发的关键 .....	2
1.3 新产品快速研发的最大推动力 .....	2
1.4 新产品制造资源的快速重组 .....	3
2 电力拖动与车辆动力学 .....	5
2.1 电力拖动系统运动方程 .....	5
2.2 生产机械的机械特性 .....	7
2.3 电动机的机械特性 .....	8
2.4 电动仓储设备交流电动机 .....	9
2.5 电动机调速方式及调速指标的比较 .....	11
2.6 车辆动力学 .....	13
2.6.1 车轴载荷 .....	14
2.6.2 电动机转矩 .....	15
2.6.3 电动机转速 .....	16
2.6.4 电动机功率 .....	16
2.7 三支点电动叉车有关性能参数验算 .....	16
2.7.1 平地空载行驶 .....	17
2.7.2 平地满载行驶 .....	18
2.7.3 空载坡度( $\theta=14.5\%$ )行驶 .....	18



2.7.4	满载坡度( $\theta=10.5\%$ )行驶	19
2.7.5	电动叉车在不同工况下电动机的性能	19
<b>3</b>	<b>电动仓储设备</b>	<b>21</b>
3.1	手动搬运车	21
3.2	步行式 1.3 吨电动搬运车	22
3.3	<b>【实例】步行式 1.3 吨电动搬运车设计验算</b>	<b>23</b>
3.3.1	平地满载行驶	25
3.3.2	坡度满载行驶	26
3.3.3	主要构件受力分析	27
3.3.4	电动液压系统参数验算	27
3.3.5	货叉强度及刚度验算	28
3.4	乘驾式 2 吨电动搬运车	29
3.4.1	<b>【实例】电动搬运车动力计算</b>	<b>29</b>
3.4.2	电动搬运车液压传动起升机构受力分析	31
3.4.3	<b>【实例】电动搬运车液压起升动力计算</b>	<b>33</b>
3.5	电动搬运车的主通道与侧通道	35
3.6	电动堆高车	36
3.6.1	门架受力分析	36
3.6.2	门架刚度计算的简化	38
3.6.3	货叉最大前倾角 $\theta$ 的确定	38
3.6.4	门架槽钢的截面及内外门架的组合	39
3.6.5	电动堆高车门架刚度计算	40
3.6.6	电动堆高车门架强度校核	41
3.6.7	货叉刚度计算和强度校核	42
3.6.8	<b>【实例】电动堆高车</b>	<b>43</b>
3.7	前移式电动叉车	48
3.7.1	载重 1.8 吨三级门架前移式电动叉车技术参数	49
3.7.2	前移式电动叉车 $P$ 和 $M$ 计算	50
3.7.3	三级门架的最大挠度 $f_{\max}$	51
3.7.4	液压系统工作原理	53
3.8	平衡重电动叉车	55

3.8.1	电动叉车的承载能力 .....	57
3.8.2	电动叉车的稳定性 .....	59
3.8.3	【实例】验证 3.5 吨电动叉车主要性能 .....	60
3.9	电动牵引车 .....	64
3.9.1	牵引力计算 .....	65
3.9.2	由附着力限值的最大爬坡度 .....	67
3.9.3	【实例】验算 QDD60TS-C 电动牵引车性能参数 .....	69
<b>4</b>	<b>仓储物流辅助设备 .....</b>	<b>74</b>
4.1	可移动液压平台车 .....	74
4.2	固定式电动液压起升平台 .....	76
4.2.1	台面板 .....	77
4.2.2	台面板抗弯强度验算 .....	78
4.2.3	台面板刚度校核 .....	79
4.2.4	双油缸的最大推力 .....	79
4.2.5	液压系统最高油压 .....	80
4.2.6	满载起升速度 .....	80
4.3	多剪叉电动液压起升平台 .....	80
4.3.1	油缸推力的分析与计算 .....	82
4.3.2	叉架刚度验算 .....	83
4.3.3	叉架强度验算 .....	84
4.4	登车桥 .....	85
4.4.1	登车桥的额定载重量 .....	86
4.4.2	登车桥台面板的支承跨度 .....	86
4.4.3	台面板的基本结构 .....	87
4.5	液压登车桥 .....	88
4.6	机械登车桥 .....	91
4.6.1	大拉簧的结构及刚度计算 .....	92
4.6.2	升程曲线板 .....	94
4.7	实心轮胎压机 .....	97
4.7.1	液压系统原理图 .....	98
4.7.2	机架立柱的强度验算 .....	99

4.7.3	横梁刚度验算	100
4.7.4	实心轮胎	100
4.7.5	实心轮胎结构尺寸的标注方法	101
4.7.6	钢圈压配式实心轮胎	101
4.7.7	装拆工具的使用	102
<b>5</b>	<b>工装夹具概述</b>	<b>104</b>
5.1	基准的概念	104
5.1.1	设计基准	104
5.1.2	工艺基准	104
5.2	工装设计的基本原则	106
5.2.1	快速响应原则	106
5.2.2	经济性原则	106
5.2.3	可靠性原则	107
5.3	机床夹具	107
5.3.1	定位误差的分析	107
5.3.2	定位误差的计算	110
5.4	焊接夹具	114
5.4.1	工件以平面定位	115
5.4.2	工件以圆孔定位	116
5.4.3	工件以外圆柱面定位	117
5.5	夹紧装置	119
5.5.1	螺旋夹紧器	119
5.5.2	螺旋—杠杆夹紧机构	120
5.5.3	螺旋拉紧、推开器	120
5.6	夹具的公差配合与技术条件的制定	121
5.6.1	制定的依据和基本原则	121
5.6.2	夹具总图上应标注的尺寸和公差	122
5.6.3	公差值的确定	122
5.7	常用夹具元件的公差配合	122
5.8	常用夹具元件的材料及热处理	123
5.8.1	定位元件	123

5.8.2	导向元件	124
5.8.3	其他元件	124
<b>6</b>	<b>典型工装夹具</b>	<b>126</b>
6.1	钻、铰机床夹具	126
6.1.1	孔加工常用工序余量	127
6.1.2	铰刀直径及制造公差的确定	127
6.1.3	铰刀公差与孔公差的配置	128
6.1.4	固定钻套	128
6.1.5	快换钻套、铰套	130
6.1.6	钻套螺钉	131
6.1.7	电动搬运车长连杆 $\phi 23_0^{+0.021}$ 四孔钻铰夹具	132
6.2	货叉架滚轮轴 6 孔镗夹具	134
6.2.1	镗夹具结构特点	134
6.2.2	镗夹具误差分析	136
6.2.3	加工精度计算	137
6.3	电动叉车二级门架外门架焊接夹具	138
6.4	焊接变位机械	139
	参考文献	142
	附 录	143

# 1 绪 论

---

仓储设备通常由轮式底盘和工作装置两大部分组成。由于机动性和绿色环保的要求,往往采用蓄电池供电车辆电动机作为驱动装置动力源。仓储设备一般用于货物的装卸、堆垛和短距离搬运,作业场所通常为仓储中心、仓库、站台和货场。因此,仓储设备具有电力拖动、起重运输和车辆动力学的很多特征,但其使用功能和作业环境又决定了它是既不同于起重机也不同于运输车辆的一种电动工业车辆。随着全球绿色环保、节能减排和物流仓储技术的快速发展,电动仓储设备也在不断发展,其形式包括电动叉车、电动搬运车、电动堆高车、电动牵引车等,正展现出广阔、可持续的发展前景。对于电动仓储设备新产品研发人员来说,有必要了解一些新产品快速研发的相关知识,故本章对此略作介绍。

## 1.1 快速响应设计与制造系统

随着科学技术的发展,新产品开发周期越来越短,一个新产品上市不久,另一个性价比更优的同类产品又问世了,市场竞争越来越激烈。以汽车制造为例,从前一个轿车车型一般都要生产数十万辆,现在一个新的车型平均只生产几万辆。为什么不能再多生产呢?原因在于,一旦有性价比更优的新车型上市,原车型就失去了市场竞争力。从前轿车的研发上市周期为5~8年;现在,国际上一个新车型的研发和上市周期已缩短到2年以下。统计表明,新产品最早上市的几家公司,往往能占领85%的市场份额。为使企业在激烈的市场竞争中立于不败之地,企业研发人员需要发展对市场动态需求具有快速响应能力的快速响应设计与制造系统。快速响应设计与制造系统主要包括新产品的快速研发和新产品制造资源的快速重组两大部分。

## 1.2 新产品快速研发的关键

电动仓储设备新产品开发的关键是优化、平衡不同的性能指标,实现产品性价比的升级和创新。

把国际上已经标准化的电动仓储设备的部套件,如电动驱动传动装置系列、驱动控制器系列、电动液压站系列等,应用在电动搬运车、电动堆高车、前移式电动叉车、电动巷道叉车、平衡重电动叉车等的新产品开发中,作为电动仓储设备新产品开发的首选部套件,就会大大缩短新产品开发上市周期,并确保产品的先进性和适用性。如图 1-1 所示为新产品优化设计流程。

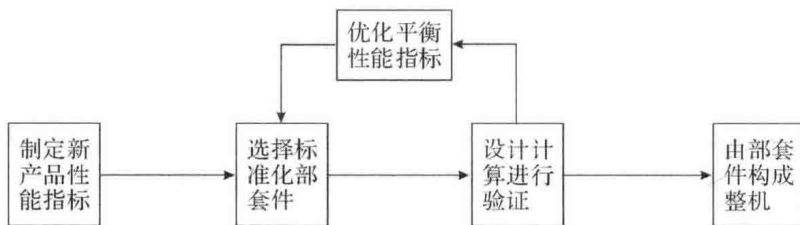


图 1-1 新产品优化设计流程

上述的产品开发思路,实际上就是模块化设计理论在电动仓储设备新产品开发中的应用。

模块化设计理论的主要价值是最大限度地利用外部专业化资源。因为专业的模块化结构来源于经验丰富的专业设计团队,即从事模块化系统的总体规划 and 系统设计、制定共同规则的精英团队,这样形成的由一系列专业化通用部套件灵活组装成产品族的产品构成模式,极大地缩短了新产品的研发周期。模块化设计是以最少要素构成最多产品的有效开发途径,因此,特别适用于多品种、小批量生产。

## 1.3 新产品快速研发的最大推动力

对于研发人员来说,“专注”就是要对产品进行不停止的钻研,以求更好。研发人员不仅要关注设计,也要关注制造工艺、质量检验、试验检测、销售服务、

客户反馈等系统信息。这些信息是我们做好工作的导师和不断钻研的源泉。

创新的最大推动力是以知识为基础的技术改进。深入掌握产品知识的过程,就是发现问题的过程,也是解决问题和实现创新的过程。创新是一个在市场上创造和产生新的客户价值的过程。客户总是最重要的,因为只有他们购买了你的产品和服务,才能最终证明你的成功,他们会用行动证明你是否创造了价值。

## 1.4 新产品制造资源的快速重组

新产品开发出来之后,要迅速形成生产能力。在快速响应市场需求方面,美国里海大学和通用汽车公司共同提出的敏捷制造生产模式,给出了一种新理念、新思路、新方法。敏捷制造生产模式不主张借助大规模技术改造来扩充企业的生产能力,也不主张建立拥有一切生产要素、独霸市场的巨型公司。敏捷制造生产模式的核心是虚拟企业(或称“动态联盟”),新产品开发成功后,主导企业将通过计算机网络,在全球范围内选取最佳制造资源组建虚拟企业,然后通过网络、数据库、多媒体等技术的支撑来协调设计、制造、装配、销售等活动,各加盟单元将根据贡献和合同分享利润。当产品的市场寿命终结时,虚拟企业是否解体则视实际情况而定。若新产品与原来产品结构相似、工艺相近,则应对原制造资源进行快速调整;若新产品与原来产品在结构和工艺上差别很大,则应对原制造资源进行快速重组。

例如,美国波音公司 747 型飞机上有 600 多万个零件,绝大部分都不是波音公司自己生产的,而是由 65 个国家和地区的 15000 多个中小企业分别提供的。

采用组建虚拟企业的办法实现制造资源快速重组的优点是:

(1)虚拟企业可充分利用现有制造资源和技术,提高制造资源重组的速度,从而显著缩短产品上市周期。

(2)虚拟企业在全世界范围内优化、组织制造资源,可以保证产品的制造质量,并可降低制造企业的成本。

(3)不需要固定资产的再投资,避免了投资风险和支付贷款利息,虚拟企业可以获得稳定的生产效益。

从工业发达国家和地区已经实施的情况分析,推行快速响应制造技术,可以明显加快新产品的上市速度。例如,美国笔记本电脑的生产,从设计到上市销售只需要 4 个月的时间。

## 2 电力拖动与车辆动力学

凡是由电动机将电能转换成机械能,拖动生产机械完成一定工艺要求的系统,都称为“电力拖动系统”。本章主要研究蓄电池供电工业车辆用电动机的机械特性以及调速运行状态等。图 2-1 为电动行走系统组成框图,图 2-2 为电动液压起升系统组成框图。

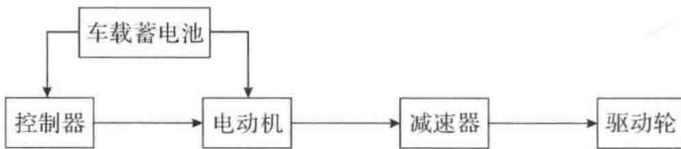


图 2-1 电动行走系统组成

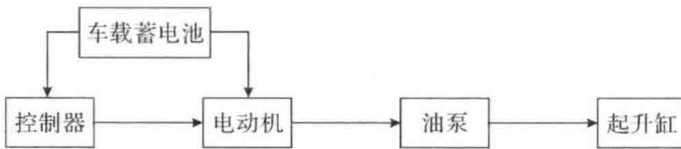


图 2-2 电动液压起升系统组成

### 2.1 电力拖动系统运动方程

在一个电力拖动系统中,电动机是处于稳定状态还是过渡状态,主要取决于电动机所产生的转矩  $T$  与负载转矩  $T_L$  是否平衡,其运行状态取决于电动机的机械特性和生产机械的机械特性。

当电动机与被拖动的生产机械在同一轴上、转速相同时,得到电力拖动系

统的运动方程式：

$$T - T_L = J \frac{d\Omega}{dt} \quad (2-1)$$

式中： $T$ ——电动机产生的拖动转矩(N·m)；

$T_L$ ——负载转矩(N·m)；

$J$ ——电动机轴上所有转动体的转动惯量(N·m·s<sup>2</sup>)；

$\Omega$ ——电动机轴的角速度(rad/s)。

转动惯量也可以用下面公式表示：

$$J = m\rho^2 = \frac{G}{g} \left( \frac{D}{2} \right)^2 = \frac{GD^2}{4g} \quad (2-2)$$

式中： $\rho$ ——旋转体的惯性半径(m)；

$D$ ——旋转体的惯性直径(m)；

$m$ ——旋转体质量(kg)；

$G$ ——旋转体所受的重力(N)；

$g$ ——重力加速度(m/s<sup>2</sup>)。

由此得

$$GD^2 = 4Jg$$

$GD^2$  是表示物体飞轮矩这一物理量的符号，它作为一个整体物理量，称为飞轮惯量或飞轮矩。电动机的飞轮惯量在产品目录中给出。

角速度  $\Omega$  可用下面公式表示：

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60}$$

式中： $n$ ——拖动系统的转速(r/min)。

将  $J$  和  $\Omega$  以  $GD^2$  和  $n$  表示，代入式(2-1)，可得在实际计算中常用的运动数值方程式为

$$T - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (2-3)$$

式中：375——具有加速度量纲的系数。

电动机的工作状态可分析运动方程式(2-3)：

(1) 当  $T - T_L = 0$  时， $\frac{dn}{dt} = 0$ ，则  $n$  为常值，电力拖动系统处于稳定运转状态；

(2) 当  $T - T_L > 0$  时， $\frac{dn}{dt} > 0$ ，电力拖动系统处于加速过渡过程状态中；

(3) 当  $T - T_L < 0$  时,  $\frac{dn}{dt} < 0$ , 电力拖动系统处于减速过渡过程状态中。

## 2.2 生产机械的机械特性

生产机械运行时常用转矩标志其负载的大小。在电力拖动系统中存在着两个主要转矩:一个是生产机械的负载转矩  $T_L$ ,另一个是电动机的电磁转矩  $T$ 。这两个转矩与转速之间的关系分别为生产机械的机械特性  $n = f(T_L)$  和电动机的机械特性  $n = f(T)$ 。由于电动机和生产机械是紧密相连的,它们的机械特性必须适当配合,才能得到合理的工作状态。因此,为了满足生产工艺过程要求,正确选择电力拖动系统,就需要了解生产机械的机械特性和分析电动机的机械特性。

不同类型的生产机械的机械特性也不同,一般可以归纳为以下几种类型。

### 1. 恒转矩负载特性

其负载转矩与速度无关,并始终保持为恒定值。例如,起重机、卷扬机、皮带运送机等,如图 2-3(a)所示。

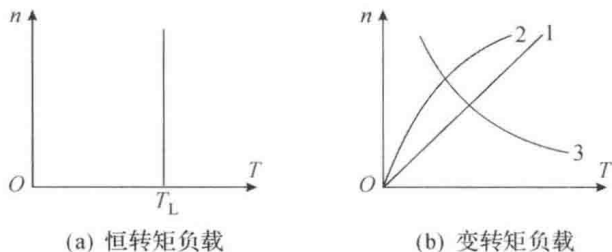


图 2-3 电动机的负载特性类型

### 2. 变转矩负载特性

其负载转矩随速度变化,根据变化规律不同,又可分为:

(1) 负载转矩与速度成正比关系。例如,拖动直流他励发电机运转的电动机属于此类负载转矩,如图 2-3(b)中曲线 1 所示。

(2) 负载转矩与速度的二次方成比例变化。例如,通风机、螺旋桨、水泵、液压泵等机械的负载转矩,均属于此类负载转矩,如图 2-3(b)中曲线 2 所示。

### 3. 恒功率负载特性

负载转矩与转速成反比关系,但转矩与转速的乘积(功率)近似保持不变,因此,也称恒功率负载特性。例如,电动叉车、电动堆高车、电动搬运车、电动牵引车等电动工业车辆,均属此类负载转矩,如图 2-3(b)中曲线 3 所示。

## 2.3 电动机的机械特性

分析电动机的性能时,机械特性具有重要意义,多数电动机的机械特性是转速随转矩增加而下降,但是不同的电动机其下降程度不同。一般用机械特性硬度来评价电动机机械特性的变化程度。

所谓机械特性硬度,是指在机械特性曲线的工作范围内,某一点转矩对该点转速的导数,即

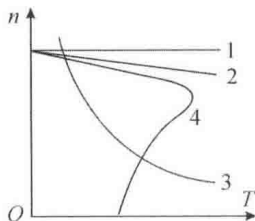
$$\beta = \frac{dT}{dn} \approx \frac{\Delta T}{\Delta n}$$

按照机械特性硬度概念,所有电动机的机械特性可以分类如下:

(1)绝对硬特性,如图 2-4 中曲线 1 所示,转矩变化,转速不变化,如同步电动机的机械特性。

(2)硬特性,如图 2-4 中曲线 2(直流他励电动机)和曲线 4(交流感应电动机)的斜直线部分所示,转矩变化,转速变化小。

(3)软特性,如图 2-4 中曲线 3 所示,转矩变化,转速下降幅度较大。如直流串励电动机(或强串弱并的直流复励电动机),具有恒功率特性,起动转矩大,过载能力强,很适于做牵引性负载驱动,广泛应用于电动物流车辆。



1—交流同步电动机;2—直流他励电动机;3—直流串励电动机;4—交流感应电动机

图 2-4 几种类型电动机的机械特性曲线

从提高物流车辆运行安全性出发,要求电动驱动系统的电动机具有软特性。当负载增大(如行驶阻力增大或上坡)时,运行速度自动降低;当负载减小时,运行速度又自动上升。

## 2.4 电动仓储设备交流电动机

电动仓储设备所使用的交流电动机有两种用途:一是提供车辆行驶驱动力;二是作为液压系统载荷起升用。这种交流电动机的供电不是工频 50Hz 的三相交流电,而是利用车载蓄电池来供电的直流电。所以这是一种比较特殊的交流电动机,其特点如下。

### 1. 交流电动机速度控制器

交流电动机速度控制器使交流电动机的供电与车载蓄电池作为供电电源相匹配。这种控制器具有逆变器和变频器的功能,将蓄电池的直流电变换为电源频率  $f$  和电压有效值  $U_1$  可调的三相交流电。

### 2. 交流电动机周期工作制定额

车辆行驶,电动机工作制定额为 60min;液压系统,电动机工作制定额为 10min,带载荷起升的持续率定额为  $10\text{min} \times 15\%$ 。

### 3. 交流电动机的额定电压 $U_1$ 与蓄电池的电源电压(标称电压)相匹配

电动机在最高和最低工作电压下应能可靠工作。最高工作电压为总的串联蓄电池元件标称电压的 1.1 倍,最低工作电压为总的串联蓄电池元件标称电压的 0.75 倍。最高和最低工作电压的平均值,即为电动机的额定电压。标称电压与额定电压的对应关系见表 2-1。

表 2-1 标称电压与额定电压对应关系

蓄电池标称电压/V	24	36	48	72	80
电动机额定电压/V	22	33	45	67	74

### 4. 交流电动机恒压频比调速

交流电动机转子的转速公式: